HARVARD MEDICAL
LIBRARY

RÖNTGEN

THE LLOYD E. HAWES
COLLECTION IN THE
HISTORY OF RADIOLOGY

Harvard Medical Library
in the Francis A. Countway
Library of Medicine ~ *Boston*

VERITATEM PER MEDICINAM QUÆRAMUS

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

http://www.archive.org/details/surlamatireradia00croo

SUR

LA MATIÈRE RADIANTE

CONFÉRENCE FAITE A SHEFFIELD, LE 22 AOUT 1879, DEVANT L'ASSOCIATION BRITANNIQUE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES;

PAR

M. WILLIAM CROOKES,

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES.

Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XIX; 1880.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1880

SUR

LA MATIÈRE RADIANTE.

CONFÉRENCE FAITE A SHEFFIELD, LE 22 AOUT 1879, DEVANT L'ASSOCIATION BRITANNIQUE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES;

PAR

M. WILLIAM CROOKES,

MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ ROYALE DE LONDRES.

Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, 5e série, t. XIX; 1880.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1880

SUR LA MATIÈRE RADIANTE.

CONFÉRENCE FAITE A SHEFFIELD, LE 22 AOUT 1879, DEVANT L'ASSOCIATION BRITANNIQUE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES.

Pour bien comprendre le titre de cette conférence, il faut se reporter à une époque éloignée de nous de plus de soixante ans, à l'année 1816. Faraday, à peine âgé de 24 ans et au début de sa carrière, simple étudiant encore, mais expérimentateur passionné, fit à cette époque une série de leçons sur les propriétés générales de la matière, et l'une d'elles porta le titre remarquable *Sur la matière radiante*. Les notes du grand physicien sur cette leçon se trouvent dans l'Ouvrage du Dr Bence Jones : *Vie et Lettres de Faraday*. Je citerai ici le passage où il emploie pour la première fois l'expression *matière radiante*.

Si nous concevons un changement aussi éloigné de la vaporisation que celle-ci est au-dessus de la fluidité, si alors nous tenons compte de l'étendue de l'altération à mesure que le changement s'accentue, et alors, si nous sommes capables de former une conception quelconque de cette altération, nous ne tomberons peut-être pas loin de la matière radiante; et, de même que dans la dernière transformation nombre de qualités ont été perdues, de même ici un plus grand nombre encore disparaîtraient.

Faraday fut évidemment absorbé par cette spéculation de longue portée, car trois ans plus tard, en 1819, nous le voyons apporter de nouvelles preuves et de nouveaux arguments pour fortifier cette surprenante hypothèse. Ses notes sont maintenant plus étendues et montrent que dans cet intervalle de trois ans il a beaucoup et profondé-

ment pensé sur cette forme plus élevée de la matière. Il fait remarquer d'abord que la matière peut être envisagée sous quatre états différents, qui sont : solide, liquide, gazeux et rayonnant, ces modifications dépendant de différences dans les propriétés essentielles de chacun d'eux. Il admet que l'existence de la matière radiante n'est pas encore démontrée, et alors il procède, dans une série d'arguments ingénieux, par analogie, à démontrer la probabilité de son existence (1).

---

(1) « Je puis maintenant faire remarquer une curieuse progression dans les propriétés physiques, qui accompagne le changement de forme, et qui est peut-être suffisante pour déterminer, dans l'inventif et ardent savant, un degré considérable de croyance dans l'association de la forme radiante avec les autres formes dans la classe des changements que j'ai mentionnés.

» A mesure que nous nous élevons de l'état solide aux états liquide et gazeux, les propriétés physiques diminuent en nombre et en variété, chaque état perdant quelque propriété appartenant à l'état précédent. Quand les solides sont convertis en liquides, les variétés de dureté et de mollesse sont nécessairement perdues. Les formes cristalline et autres sont détruites. L'opacité et la couleur font fréquemment place à un aspect incolore et transparent, en même temps que les particules deviennent animées d'un mouvement général.

» Passant plus avant, jusqu'à l'état gazeux, un plus grand nombre encore des caractères des corps sont anéantis. Les grandes différences dans leurs poids disparaissent presque ; les différences de couleur, qui restaient encore, finissent également par se perdre. Tous deviennent transparents et élastiques. Ils forment maintenant une seule série de substances, et les variétés de dureté, opacité, couleur, élasticité et forme, qui rendent le nombre de solides et fluides presque infini, sont maintenant substituées par quelques légères variations en poids et quelques nuances insignifiantes de couleur.

» Pour ceux donc qui admettent la forme rayonnante de la matière, il n'existe aucune difficulté dans la simplicité des propriétés qu'elle possède, mais plutôt un argument en leur faveur. Ces personnes nous montrent bien une diminution graduelle de propriétés dans la matière, diminution que nous pouvons apprécier à mesure que la matière parcourt l'échelle de formes, et elles seraient étonnées si cet effet devait cesser avec l'état gazeux. Elles font remarquer les efforts plus grands que la nature fait à chaque pas du changement et pensent, par conséquent, que ce changement devrait être des plus grands dans le passage de la forme gazeuse à la forme radiante. » (*Vie et Lettres de Faraday*, t. I, p. 308.)

Si, au commencement de ce siècle, on nous avait demandé ce que c'est qu'un gaz, nous aurions répondu que c'est de la matière dilatée et raréfiée, impalpable jusqu'à un certain point, excepté lorsqu'elle est animée d'un mouvement violent; invisible, incapable d'être réduite à une forme définie ou de la prendre, comme les substances solides, ou de former des gouttes comme les liquides; toujours prête à se dilater lorsqu'on ne lui oppose aucune résistance, et de se contracter quand elle est soumise à la pression. Ce sont là les principaux attributs que l'on assignait aux gaz il y a soixante ans. Les recherches modernes ont grandement étendu et modifié nos vues sur la constitution de ces fluides élastiques. Les gaz sont maintenant considérés comme étant formés d'un nombre presque infini de petites particules ou molécules qui se meuvent constamment dans toutes les directions avec des vitesses de toutes les amplitudes. Comme ces molécules sont extrêmement nombreuses, il s'ensuit qu'aucune molécule ne peut se mouvoir un peu loin, dans n'importe quelle direction, sans toucher quelque autre molécule. Mais, si nous épuisons l'air ou le gaz contenu dans un vase fermé, le nombre des molécules diminue, et la distance à travers laquelle l'une d'elles peut se mouvoir sans arriver en contact avec une autre est augmentée, la longueur moyenne du chemin de libre parcours étant en raison inverse du nombre des molécules présentes. Plus l'épuisement est prolongé et plus augmente la longueur moyenne de la distance qu'une molécule peut parcourir avant qu'une collision ait lieu, ou, en d'autres termes, plus le chemin de libre parcours est long et plus les propriétés physiques du gaz ou de l'air sont modifiées. Ainsi, à un certain degré de raréfaction, les phénomènes du radiomètre deviennent possibles; en poussant encore plus loin la raréfaction, ou, ce qui revient au même, en diminuant le nombre des molécules dans un espace donné

et en augmentant la distance moyenne de leur libre parcours, on peut obtenir d'autres résultats, sur lesquels je vais appeler votre attention. Ces phénomènes sont si distincts de tout ce qui se passe dans l'air ou dans un gaz à la pression ordinaire, que nous sommes portés à admettre que nous nous trouvons en face de la matière dans un quatrième état ou condition, condition aussi éloignée de l'état de gaz qu'un gaz l'est d'un liquide.

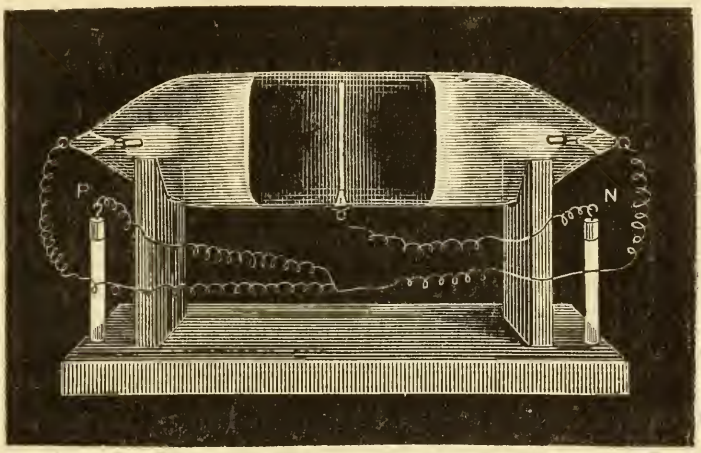
Moyenne de libre parcours. — Matière radiante.

Je crois, depuis longtemps déjà, qu'un certain aspect bien connu et observé dans les tubes où l'on a fait le vide est intimement lié avec les phénomènes relatifs à la distance moyenne du libre parcours des molécules. Quand on examine le pôle négatif pendant que la décharge d'une bobine d'induction passe à travers un tube vide, on voit un espace obscur autour du pôle. On constate que cet espace obscur augmente et diminue suivant que le degré de vide varie, de même que la moyenne du chemin de libre parcours des molécules augmente et diminue. A mesure que l'on est conduit à concevoir que l'un devient plus grand, on voit en réalité que l'autre croît en dimension, et, si le vide est insuffisant pour permettre un grand essor aux molécules avant qu'elles entrent en collision, le passage de l'électricité montre que l'*espace obscur* s'est réduit à des dimensions très petites. Nous concluons, naturellement, que l'espace obscur est la moyenne du chemin de libre parcours des molécules du gaz qui reste, conclusion que l'expérience confirme.

Je m'efforcerai de rendre cet *espace obscur* visible pour tous ceux qui sont présents. Voici un tube (*fig.* 1) muni, au centre, d'un pôle sous la forme d'un disque de métal, et d'autres pôles aux extrémités. Le pôle du centre est rendu négatif, et les deux pôles extrêmes, réunis ensemble,

forment l'extrémité positive. L'espace obscur se trouvera dans le centre. Quand le degré de vide n'est pas très grand, l'espace obscur s'étend très peu de chaque côté du pôle négatif, dans le centre. Quand l'épuisement du tube est bon, comme c'est le cas du tube qui se trouve devant vous,

Fig. 1.



et que je fais passer le courant de la bobine, l'espace obscur s'étale à environ 1 pouce de chaque côté.

Nous voyons donc ici l'étincelle d'induction qui éclaire actuellement les lignes de la pression moléculaire causée par l'impulsion donnée par le pôle négatif. L'épaisseur de cet espace obscur est la mesure de la moyenne du libre parcours entre les collisions successives des molécules du résidu de gaz. L'extra-vitesse avec laquelle les molécules électrisées négativement rebondissent du pôle excité arrête les molécules qui s'avancent vers ce pôle et se meuvent plus lentement. Un conflit a lieu dans les limites de l'espace obscur, où les bords lumineux témoignent de l'énergie de la décharge.

Par conséquent, le gaz qui reste (ou, comme je préfère l'appeler, le résidu gazeux) dans l'espace obscur est dans un état entièrement différent de celui des gaz qui restent dans des vaisseaux réduits à un degré de vide inférieur.

Je cite ici les propres paroles de notre président de l'année dernière dans son discours prononcé à Dublin :

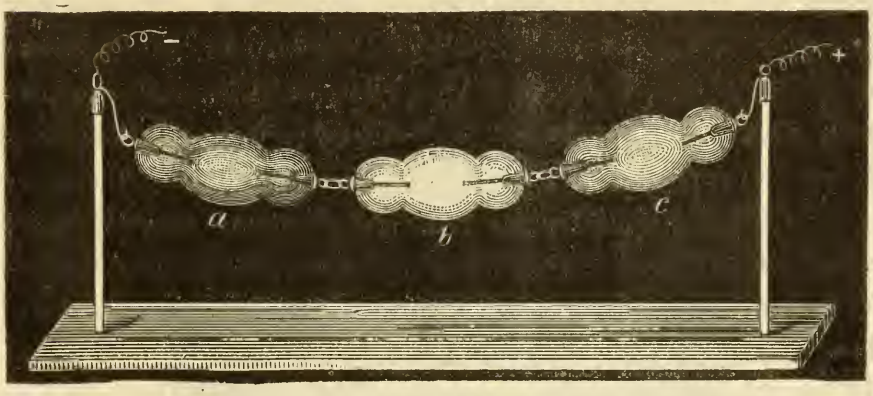
Dans la colonne épuisée, nous avons un véhicule pour l'électricité, pas constant comme un conducteur ordinaire, mais modifié lui-même par le passage de la décharge, et peut-être assujetti à des lois matériellement différentes de celles auxquelles elle obéit à la pression atmosphérique.

Dans des vaisseaux dont le vide n'a pas été poussé aussi loin, la longueur de la moyenne du libre parcours des molécules est excessivement petite en comparaison des dimensions de la boule, et les propriétés qui appartiennent à l'état gazeux ordinaire de la matière et qui dépendent de collisions constantes peuvent être observées. Mais, dans les phénomènes que nous examinons maintenant, l'épuisement est si grand, que l'espace obscur autour du pôle négatif s'élargit jusqu'à ce qu'il remplisse entièrement le tube. Dans le cas d'une très grande raréfaction, la moyenne du libre parcours est devenue si grande, que les rencontres, dans un temps donné en comparaison des cas où elles font défaut, peuvent être négligées, et la molécule moyenne (*average molecule*) peut maintenant obéir à ses propres mouvements ou lois sans entraves. En effet, la moyenne du libre parcours est comparable aux dimensions du vaisseau, et nous n'avons plus affaire à une portion *continue* de matière, comme ce serait le cas si les tubes étaient moins fortement épuisés, mais nous devons ici considérer les molécules *individuellement*. Dans ces vaisseaux si fortement épuisés, les molécules du résidu gazeux peuvent se lancer à travers le tube avec peu de collisions comparativement, et, rayonnant du pôle avec une énorme vitesse, elles prennent des propriétés assez nouvelles et assez caractéristiques pour justifier l'application du terme emprunté à Faraday, celui de *matière radiante*.

La matière radiante exerce une action phosphorescente très puissante partout où elle frappe.

J'ai dit que la matière radiante, dans l'espace obscur, produit un phénomène lumineux là où sa vitesse est arrêtée par le résidu de gaz qui se trouve en dehors de l'espace obscur. Mais, s'il n'y a aucun résidu de gaz, les molécules ne seront arrêtées dans leur parcours que par les parois du tube de verre, et ici nous arrivons à la première et à la fois à l'une des propriétés les plus remarquables de la matière radiante émise du pôle négatif, à savoir son pouvoir de produire de la phosphorescence quand elle frappe de la matière solide. Le nombre des corps qui répondent par un phénomène lumineux au bombardement moléculaire est très grand, et les couleurs qui résultent sont très variées. Le verre, par exemple, est très phosphorescent quand il est exposé à un courant de matière radiante. Voici (*fig.* 2) trois boules de verres

Fig. 2.



différents : l'une *a* est en verre d'urane, qui donne une phosphorescence de couleur vert foncé; l'autre *b* est en verre anglais, dont la phosphorescence est bleue, et la troisième *c* est en verre allemand fusible, dont sont fabriqués la plupart des appareils qui se trouvent devant

vous et qui produit une phosphorescence d'un beau vert pomme.

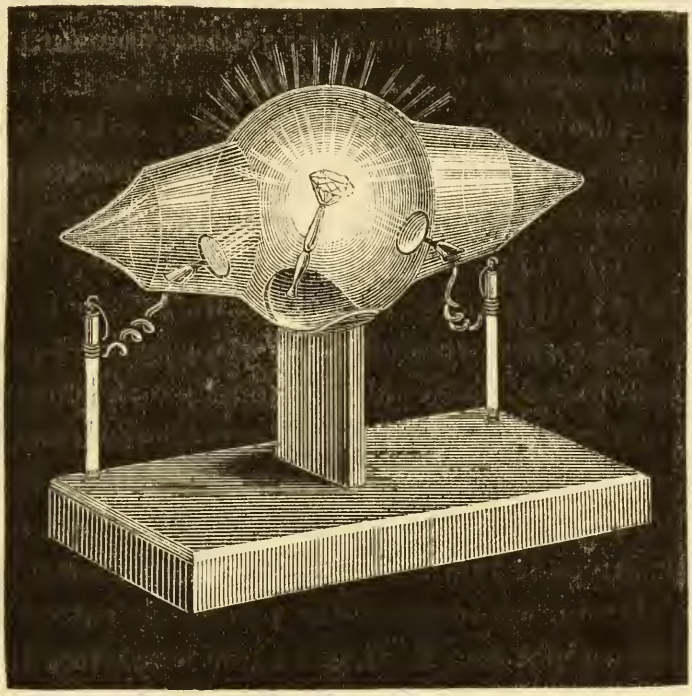
Presque toutes mes premières expériences ont été exécutées à l'aide de la phosphorescence que le verre prend quand il se trouve soumis à l'influence de la décharge rayonnante; mais un grand nombre d'autres substances possèdent ce pouvoir phosphorescent à un degré encore plus élevé que le verre. Voici, par exemple, quelques-uns des sulfures lumineux de calcium, préparés suivant les indications de M. Ed. Becquerel. Quand le sulfure est exposé à la lumière (même à celle d'une bougie), il produit la phosphorescence pendant des heures entières avec une couleur d'un blanc bleuâtre. Il devient cependant encore plus fortement phosphorescent sous l'influence d'une décharge moléculaire dans un vide convenable, ainsi que vous le verrez lorsque je ferai passer la décharge à travers ce tube.

D'autres substances, outre les verres anglais et allemand, le verre d'urane et les sulfures lumineux de M. Becquerel, sont aussi phosphorescentes. Ce minéral rare, la phénakite (aluminate de glucinium), produit une phosphorescence bleue; le minéral spodumène (un silicate d'aluminium et de lithium) donne une belle phosphorescence d'un jaune d'or; l'émeraude produit une lumière cramoisie. Mais le diamant est, sans exception, la substance la plus sensible que j'aie rencontrée au point de vue de la phosphorescence à la fois immédiate et brillante. Voici un diamant phosphorescent très curieux, vert à la lumière du jour et incolore à la lumière d'une bougie. Il est monté au centre d'une boule dans laquelle on a fait le vide (*fig.* 3), et la décharge moléculaire sera dirigée sur lui de bas en haut. En supprimant toute la lumière de la salle, vous verrez le diamant briller avec autant d'intensité qu'une bougie et émettre une belle phosphorescence verte.

Après le diamant, le rubis est la pierre la plus remar-

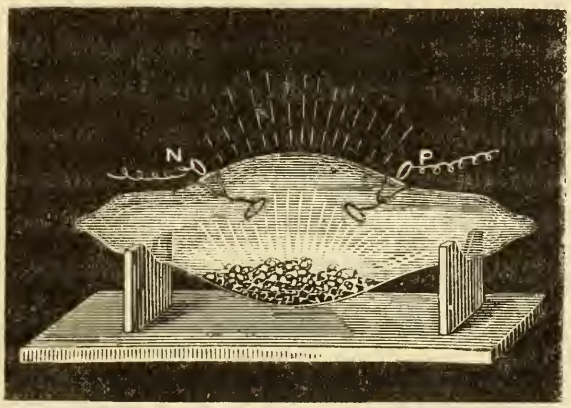
quable pour la phosphorescence. Dans ce tube (*fig.* 4) se trouve une collection de rubis sous forme de cailloux. Aus-

Fig. 3.



sitôt que l'on fait passer l'étincelle d'induction, vous verrez ces rubis briller avec un éclat d'un beau rouge, comme

Fig. 4.



s'ils devenaient incandescents. Peu importe d'ailleurs la couleur de la pierre pour commencer une expérience. Dans

ce tube contenant des rubis naturels, il y a des pierres de toutes les couleurs, le rouge foncé et aussi le rubis rose très pâle. Il y en a qui sont si pâles qu'ils sont presque incolores, et quelques-uns de ceux très estimés dits à *sang de pigeon;* mais, sous le choc de la matière radiante, tous produisent la phosphorescence avec la même couleur à peu près.

On sait que le rubis n'est autre chose que de l'alumine cristallisée, contenant des traces de matières colorantes. Dans un Mémoire publié il y a vingt ans (1), M. Ed. Becquerel décrit l'apparence de l'alumine comme prenant une riche coloration rouge sous l'influence du phosphoroscope. Nous avons ici de l'alumine précipitée, préparée avec le plus grand soin. Elle a été chauffée au rouge blanc, et vous la voyez prendre l'aspect incandescent sous l'influence de la décharge moléculaire, en produisant la même coloration rouge.

Le spectre de la lumière rouge émise par toutes ces variétés d'alumine est le même que celui décrit par M. Becquerel il y a vingt ans. Il y a une ligne rouge très intense, un peu au-dessous de la ligne fixe B dans le spectre, ayant une longueur d'onde d'environ 6895. Il y a un spectre continu commençant vers B et quelques lignes très faibles au delà de ce point; mais ces lignes sont si faibles en comparaison de la ligne rouge, que l'on peut bien les négliger. On voit cette ligne facilement quand on examine, avec un petit spectroscope de poche, la lumière réfléchie par un bon rubis.

Il existe un degré de vide plus convenable qu'aucun autre pour le développement des propriétés de la matière radiante que nous examinons maintenant (2). A ce degré

---

(1) *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3e série, t. LVIII, p. 50; 1859.

(2)

1,0	millionième d'atmosphère...			$0^{mm},00076$.
1315,789	»	»	...	$1^{mm},0$.
1000000	»	»	...	760^{mm}.
1000000	»	»	..	1^{atm}.

d'épuisement, la phosphorescence est très grande, et après elle commence à diminuer jusqu'à ce que l'étincelle cesse de passer [1].

---

[1] Il y a environ cent ans, W. Morgan communiqua à la Société royale un Mémoire intitulé : « Expériences électriques faites pour préciser le pouvoir non conducteur d'un vide parfait, etc. » Les passages suivants de ce Mémoire, publié dans les *Philosophical Transactions* pour l'année 1785 (t. LXXV, p. 272), seront lus avec intérêt :

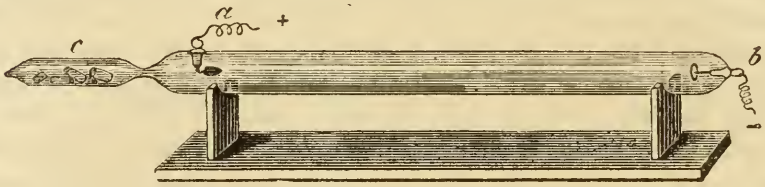
« Une jauge à mercure d'environ 15 pouces de long, soigneusement et exactement soumise à l'ébullition jusqu'à ce que toute parcelle d'air ait été chassée de l'intérieur, fut entourée de feuilles d'étain, à partir de 5 pouces au-dessous de son extrémité fermée, et renversée dans du mercure contenu dans une cuvette, cette dernière étant munie d'un couvercle de laiton perforé pour livrer passage au tube à mercure. Le tout a été cimenté ensemble, et l'air fut épuisé de l'intérieur de la cuve par une soupape adaptée au couvercle de laiton, ce qui, produisant un vide parfait dans la jauge à mercure, formait un instrument très approprié pour des expériences de ce genre. Les choses étant ainsi disposées (un fil métallique avait été préalablement fixé dans l'intérieur de la cuvette pour établir une communication entre le couvercle de bronze et le mercure dans lequel plongeait le tube jaugé), l'extrémité recouverte fut appliquée au conducteur d'une machine électrique, et, malgré tous les efforts que l'on fit, ni le moindre rayon de lumière ni la moindre charge n'ont pu être obtenus dans ce tube épuisé.

» Si le mercure contenu dans la jauge est soumis à une ébullition incomplète, l'expérience ne réussit pas ; mais la couleur de la lumière électrique, qui dans l'air raréfié par un appareil à faire le vide est toujours violette ou pourpre, apparaît dans ce cas d'un beau vert, et, ce qui est très curieux, le degré de la raréfaction de l'air peut être à peu près déterminé par ce moyen, car j'ai vu des cas, pendant le cours de mes expériences, où, une faible quantité d'air étant entrée dans le tube, la lumière électrique est devenue visible et, comme d'habitude, d'une couleur verte. Mais, la charge étant souvent répétée, le tube s'est enfin fendu à l'extrémité fermée, et, à cause de la rentrée de l'air extérieur, il s'est produit graduellement un changement dans la lumière électrique, dont la couleur a passé du vert au bleu, du bleu à l'indigo, et ainsi de suite jusqu'au violet et au pourpre, jusqu'à ce que le milieu soit devenu enfin assez dense pour cesser d'être conducteur de l'électricité. En partant des expériences que je viens de rapporter, je pense qu'il ne peut y avoir de doute sur la non-conductibilité du vide parfait.

» Cela semble prouver qu'il y a une limite, même dans la raréfaction de l'air, qui fixe les limites de son pouvoir conducteur, ou, en d'autres termes, que les particules d'air peuvent être écartées aussi loin les unes des autres de façon à ne plus être capables de transmettre le fluide élec-

J'ai ici un tube (*fig.* 5) qui servira à démontrer la dépendance de la phosphorescence du verre avec le degré de raréfaction. Les deux pôles sont situés en *a* et en *b*, et à l'extrémité *c* se trouve un petit tube supplémentaire, en communication avec le grand tube par un orifice très étroit et contenant de la potasse caustique solide. On y a fait le vide jusqu'à un point très élevé; on a chauffé la potasse de façon à céder un peu de son humidité et à altérer le vide. L'épuisement du tube a été recommencé, puis on a chauffé de nouveau la potasse et effectué un nouvel épuisement. Ces opérations ont été répétées plusieurs fois avant que le

Fig. 5.



tube fût porté à l'état dans lequel il se trouve maintenant devant vous. Quand on fait marcher la bobine d'induction, on ne voit rien : le vide est si grand, que le tube n'est pas conducteur. Je chauffe maintenant la potasse très légèrement et je fais ainsi dégager une trace de vapeur d'eau : aussitôt la conductibilité commence et la phosphorescence verte jaillit le long du tube. Je continue à chauffer de façon à faire partir encore plus de vapeur : le vert devient plus faible, une nuée de lumière rase le long du tube, et des stratifications apparaissent. Ces stratifications deviennent rapidement plus étroites, jusqu'à ce que l'étincelle, enfin, passe à travers le tube sous la forme d'une ligne étroite de couleur pourpre. Je cesse de chauffer et laisse refroidir la potasse, qui alors réabsorbe la vapeur

---

trique; que, si elles sont portées jusqu'à une certaine distance les unes des autres, leur pouvoir conducteur commence et augmente continuellement jusqu'à ce que leur rapprochement arrive aussi à sa limite. »

d'eau. La ligne pourpre s'élargit et se brise en produisant des stratifications très fines; celles-ci deviennent plus larges et arrivent même jusque dans le tube à potasse. Maintenant, un flot de lumière verte apparaît sur le verre à l'autre extrémité; elle marche rapidement et chasse vers la potasse la dernière stratification. Alors le tube se couvre dans toute sa longueur d'une phosphorescence verte.

Je pourrais conserver ce tube devant vous, montrer que la phosphorescence verte s'affaiblit et que le vide devient enfin non-conducteur; mais je vous retiendrais trop longtemps, car la vapeur d'eau est absorbée très lentement, et je dois passer au sujet suivant.

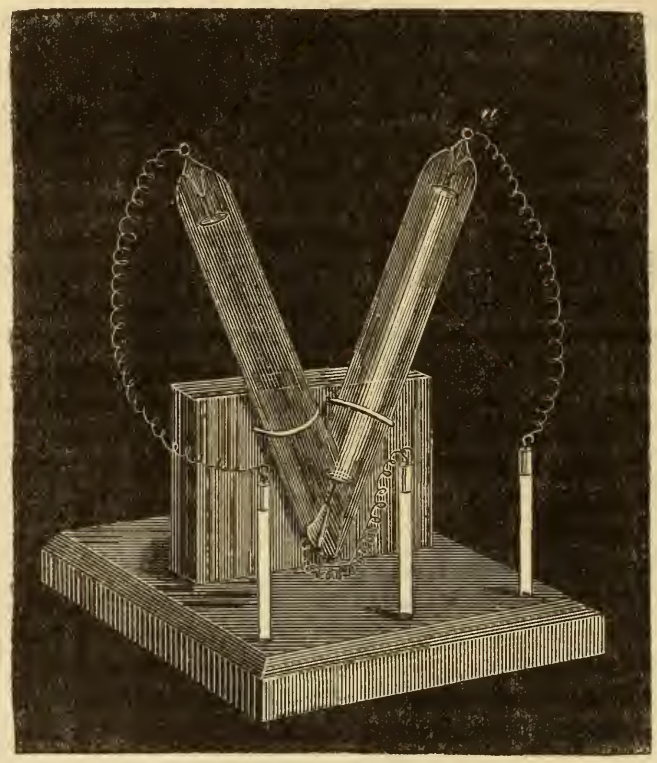
La matière radiante marche en ligne droite.

La matière radiante, dont le choc sur le verre donne lieu à une production de lumière, refuse absolument de tourner une encoignure. Voici un tube en forme de V (*fig.* 6), ayant un pôle à chacune de ses extrémités. Le pôle qui se trouve du côté droit (*a*) étant le pôle négatif, vous voyez que tout ce côté du tube est inondé de lumière verte; mais, à l'extrémité de cette branche, la lumière s'arrête subitement et ne tourne pas l'encoignure pour se propager le long de la branche de gauche. Quand je renverse le courant et que je rends négatif le pôle de gauche, la coloration verte change, tombe de ce côté et suit toujours le pôle négatif; le côté du pôle positif reste presque sans lumière.

Dans les phénomènes ordinaires produits dans des tubes vides, phénomènes avec lesquels nous sommes tous familiarisés, il est d'usage de donner aux tubes des formes parfois très contournées afin de faire ressortir les contrastes frappants de couleur. La clarté produite par la phosphorescence de résidus gazeux suit toutes les circonvolutions que les souffleurs de verre habiles peu-

vent effectuer pour contourner le verre. Le pôle négatif étant à une extrémité, le pôle positif à l'autre, les phénomènes lumineux semblent dépendre plus du pôle positif que du pôle négatif dans les cas de vides ordinaires, tels qu'on les a produits jusqu'à présent pour obtenir les meilleurs résultats. Mais, à un degré très élevé d'épuisement,

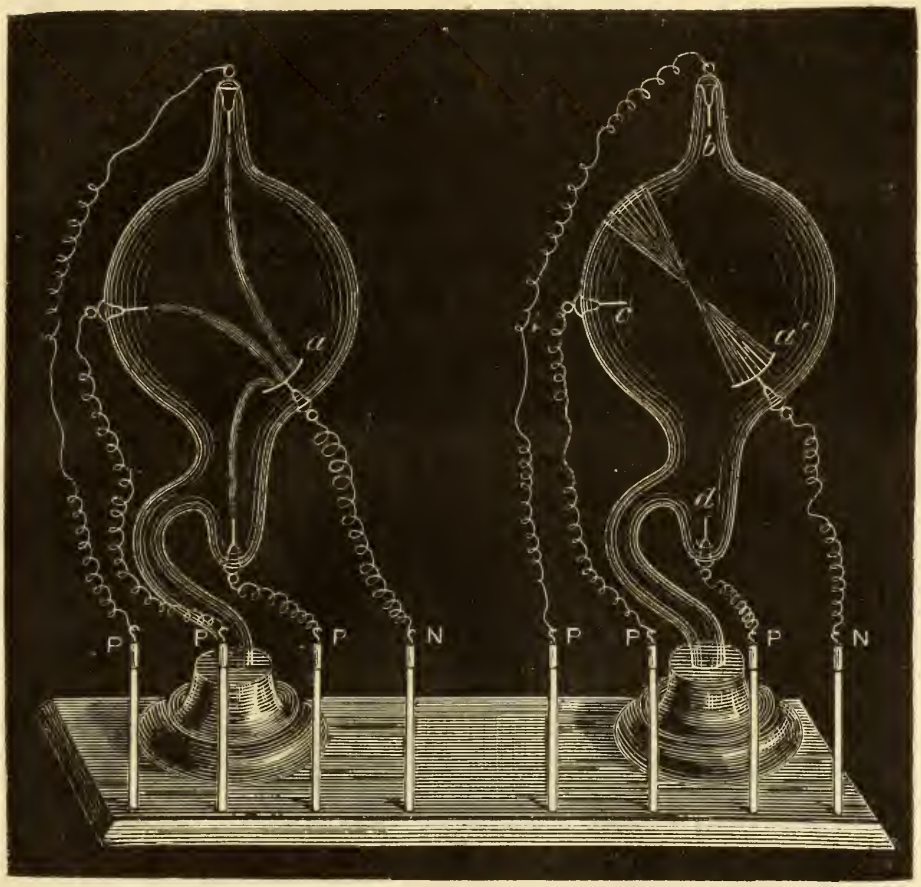
Fig. 6.



les phénomènes observés dans les tubes vides ordinaires quand l'étincelle d'induction les traverse, à savoir une apparence de nuée lumineuse et des stratifications, disparaissent entièrement. On ne voit, dans toute la longueur du tube, ni nuages ni brouillards, et, avec des tubes tels que ceux que j'emploie dans ces expériences, la seule lumière que l'on observe est celle de la surface phosphorescente du verre. J'ai ici deux boules (*fig.* 7) de même forme et identiquement disposées par rapport aux pôles;

la seule différence qui existe entre ces boules a trait à leur degré de vide : l'une épuisée jusqu'à la pression de quelques millimètres de mercure, pression capable de donner les phénomènes lumineux ordinaires ; l'autre épuisée à environ un millionième d'atmosphère. Je mettrai d'abord la

Fig. 7.



boule peu épuisée A en communication avec la bobine d'induction, et, conservant le pôle d'un côté *a* toujours négatif, je placerai successivement le rhéophore positif avec les autres pôles dont la boule est munie. Vous voyez qu'à mesure que je change la position du pôle positif la ligne de lumière violette qui joint les deux pôles change, le courant électrique choisissant toujours le chemin le plus

court entre les deux pôles et se mettant en mouvement dans la boule à mesure que je change la position des fils.

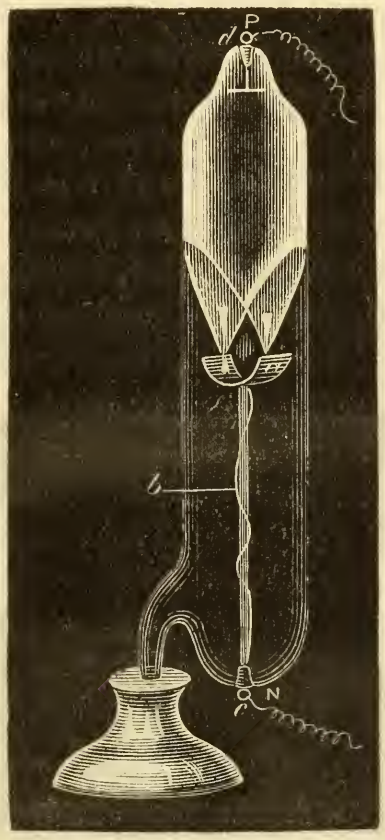
Voilà l'espèce de phénomène que nous obtenons avec le vide ordinaire. J'essayerai maintenant la même expérience avec la boule B, dont le vide est poussé à un très haut degré, et, comme précédemment, je placerai à côté, en *a'*, le pôle négatif, le pôle positif étant en *b*. Remarquez combien grande est la différence entre l'apparence actuelle et celle que présentait la boule précédente. Le pôle négatif a la forme d'un godet ou tasse peu profonde. Les rayons moléculaires partant de la tasse se croisent dans le centre de la boule, et de là, en divergeant, ils tombent sur le côté opposé, où ils produisent une étendue circulaire de lumière phosphorescente verte. A mesure que je fais tourner la boule, vous voyez la pièce ou surface verte sur le verre. Observez maintenant : j'enlève le fil positif de la partie supérieure et le mets en communication avec le pôle latéral *c*. La pièce ou petite surface verte provenant du foyer négatif divergent reste toujours. Je rends maintenant positif le pôle placé le plus bas *d*, et la surface verte reste où elle était tout d'abord, sans le moindre changement de position ou d'intensité.

Nous avons ici une autre propriété de la *matière radiante*. Dans les vides ordinaires, la position du pôle positif est très importante, tandis que dans les vides poussés très loin la position du pôle positif est sans importance : les phénomènes semblent dépendre entièrement du pôle négatif. Si le pôle négatif se trouve dans la direction du pôle positif, c'est très bien ; mais, si le pôle négatif se trouve dans une position tout à fait opposée, cela n'a aucune influence : la matière radiante s'élance du pôle négatif en ligne droite de la même façon.

Si, au lieu d'un disque plat, on emploie un demi-cylindre comme pôle négatif, la matière rayonne encore normalement à sa surface. Le tube qui se trouve devant

vous (*fig.* 8) fait voir cette propriété. Il a comme pôle négatif un demi-cylindre *a* en aluminium poli. Celui-ci est en communication avec un fil de cuivre fin *b* qui arrive jusqu'au rhéophore de platine *c*. A la partie supérieure du tube est adapté un autre fil *d*. La bobine d'in-

Fig. 8.



duction est mise en communication avec le tube de façon que le demi-cylindre soit le pôle négatif et que le pôle positif soit placé en haut. Alors, le tube étant épuisé jusqu'à un certain degré, la projection des rayons moléculaires vers un foyer se produit d'une manière très belle.

Les rayons de matière partant du demi-cylindre suivant une direction normale à sa surface arrivent à un foyer; là ils divergent et tracent leur chemin dans une brillante

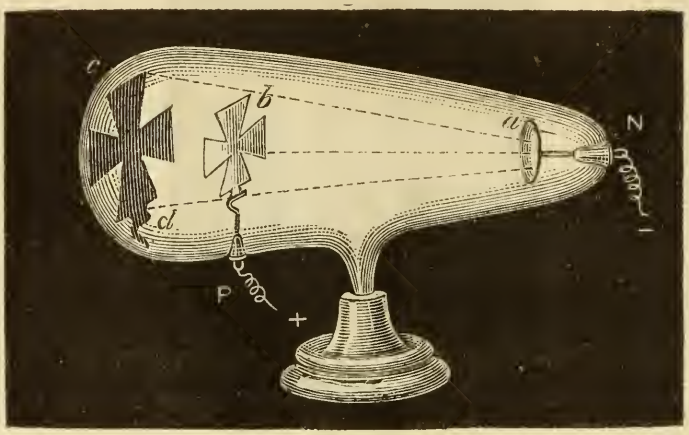
phosphorescence verte qui se projette sur la surface du verre.

Au lieu de recevoir les rayons moléculaires sur le verre, je vous montrerai un autre tube dans lequel le foyer tombe sur un écran phosphorescent. Voyez avec quel éclat brillent les lignes de décharge, avec quelle intensité le point focal est illuminé, au point d'éclairer même la table !

La matière radiante, étant interceptée par une matière solide, renvoie une ombre.

La matière radiante vient du pôle en ligne droite et ne pénètre pas seulement toutes les parties du tube et ne le remplit pas seulement de lumière, comme dans le cas où le degré d'épuisement serait moins élevé : là où le chemin

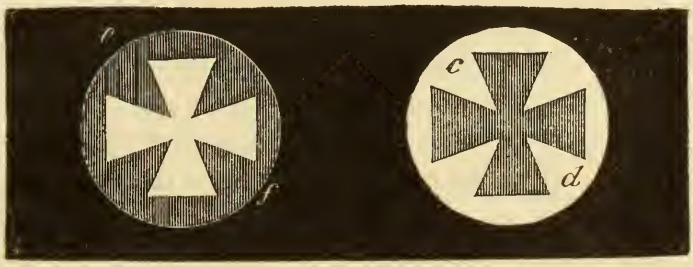
Fig. 9.



est libre, les vapeurs frappent l'écran et produisent de la phosphorescence, et, là où intervient une matière solide, les rayons sont arrêtés par cette matière solide, et une ombre est projetée sur l'écran. Dans cette boule en forme de poire (*fig.* 9), le pôle négatif *a* est à l'extrémité pointue. Au milieu se trouve une croix *b* coupée dans une feuille d'aluminium, de sorte que les rayons, partant du pôle négatif et se projetant le long du tube, seront partielle-

ment interceptés par la croix d'aluminium, et en projetteront une image sur l'extrémité hémisphérique du tube, laquelle est phosphorescente. Je fais marcher le courant, et vous verrez tous l'ombre noire de la croix sur l'extrémité lumineuse du tube *cd*. Mais la matière rayonnante a passé à côté de la croix d'aluminium pour produire l'ombre, le verre a été comme martelé et bombardé jusqu'à devenir sensiblement chaud, et en même temps un autre effet a été produit sur le verre : sa sensibilité a été matée. Le verre est devenu fatigué, si je puis m'exprimer ainsi, par la phosphorescence excitée. Un

Fig. 10.



changement s'est produit par ce bombardement moléculaire, qui empêchera le verre de répondre facilement à une nouvelle excitation ; mais la partie sur laquelle l'ombre était tombée n'est pas fatiguée, elle n'a pas produit encore de phosphorescence et est complètement fraîche. Par conséquent, si je renverse cette croix, ce que je puis facilement faire, en la secouant, grâce à une disposition ingénieuse établie par M. Gimingham, et que je permette ainsi aux rayons émanant du pôle négatif de tomber d'une manière non interrompue sur l'extrémité de la boule, vous verrez la croix noire *cd* (*fig.* 10) changer subitement en une croix lumineuse *ef*, car l'espace qui est en arrière ne peut maintenant produire qu'une très faible phosphorescence, tandis que la partie qui était limitée par l'ombre noire retient tout son pouvoir phosphorescent.

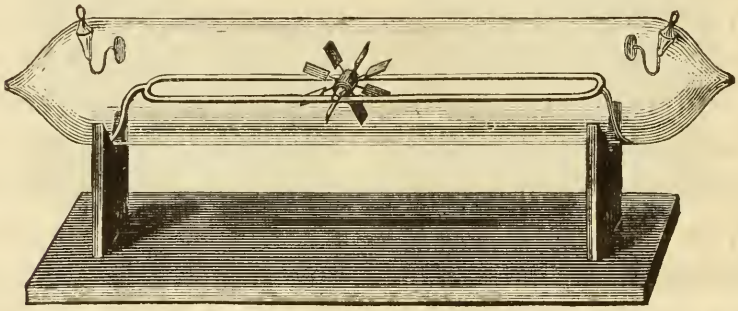
L'image colorée de la croix lumineuse s'éteint malheureusement très promptement. Après un certain temps de repos, le verre recouvre en partie son pouvoir phosphorescent, lequel, néanmoins, ne devient jamais aussi bon que précédemment.

Ici, par conséquent, se manifeste encore une autre propriété importante de la matière rayonnante : elle est projetée avec une grande vitesse du pôle négatif, et non seulement elle frappe le verre de façon à le faire vibrer et devenir lumineux pendant que la décharge continue, mais les molécules frappent avec assez d'énergie pour produire un effet permanent sur le verre.

La matière radiante exerce une forte action mécanique partout où elle frappe.

Nous avons vu, par la nature bien tranchée des ombres moléculaires, que la matière radiante est arrêtée par des matières solides placées dans son parcours. Si ce corps solide peut facilement être mis en mouvement, le choc des

Fig. 11.



molécules se révélera par une forte action mécanique. M. Gimingham a fabriqué pour moi un appareil très ingénieux, qui, étant placé dans la lanterne électrique, rend cette action mécanique visible à tout un auditoire. Il consiste en un tube de verre, dont le vide est poussé à un très haut degré (*fig.* 11), ayant un petit chemin à rails en

verre qui allonge le tube d'une extrémité à l'autre. Le treuil d'une petite roue tourne sur les rails, les rayons de la roue portant des palettes assez larges en mica. A chaque extrémité du tube et un peu au-dessus du centre est placé un pôle en aluminium, de telle sorte que, l'un ou l'autre étant rendu négatif, le courant de matière radiante s'élance de ce pôle vers le long du tube et, frappant les ailettes supérieures de la petite roue, la fait tourner et cheminer le long des rails. En changeant les pôles, je puis arrêter la roue et l'envoyer en sens inverse; et si j'incline légèrement le tube, la force d'impulsion se trouve être suffisante pour pousser la roue même de bas en haut.

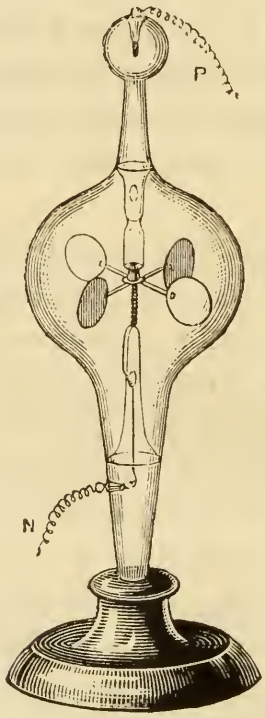
Cette expérience montre, par conséquent, que le courant moléculaire, qui émane du pôle négatif, est capable de faire mouvoir devant lui n'importe quel objet léger.

Les molécules étant poussées du pôle avec violence, il devrait y avoir un recul du pôle produit par les molécules, de sorte que, si l'on dispose un appareil de façon à avoir le pôle négatif mobile, le corps qui reçoit l'impulsion de la matière radiante étant fixé, le recul peut être rendu visible. L'appareil de la *fig.* 12 ne diffère pas, en apparence, d'un radiomètre ordinaire, avec des disques d'aluminium faisant fonction d'ailettes, chaque disque étant recouvert d'un côté d'une feuille de mica. Le volant est supporté par un petit godet, non pas en verre comme dans les appareils ordinaires, mais en acier dur, et la pointe d'aiguille sur laquelle il tourne est en communication, au moyen d'un fil conducteur métallique, avec un fil de platine scellé dans le verre. A la partie supérieure de la boule du radiomètre est scellé un second fil. Le radiomètre peut, par conséquent, être mis en communication avec une bobine d'induction, le volant mobile étant rendu le pôle négatif.

Pour ces effets mécaniques, le degré de vide n'a pas besoin d'être aussi grand que lorsqu'il s'agit de produire

la phosphorescence. La meilleure pression pour ce radiomètre électrique est un peu au-dessus de celle pour laquelle l'espace obscur autour du pôle négatif s'étend vers les côtés de la boule de verre. Quand la pression est seulement de quelques millimètres de mercure, en faisant passer le courant d'induction, un halo de lumière violette

Fig. 12.



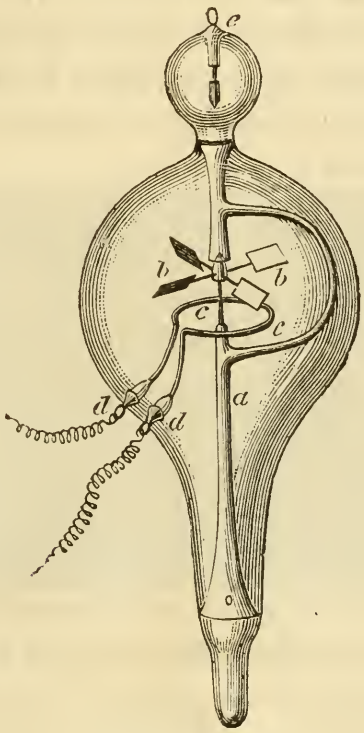
à aspect velouté se produit sur la face métallique des ailettes; la face recouverte de mica reste noire.

A mesure que la pression diminue, on voit un espace obscur qui sépare le halo violet du métal. A une pression d'un demi-millimètre, cet espace obscur s'étend jusqu'au verre et la rotation commence. En continuant l'épuisement, l'espace obscur s'élargit davantage et semble s'aplatir contre le verre quand la rotation devient très rapide.

Voici encore un autre modèle de l'appareil qui fait voir

la force mécanique de la matière radiante émanant du pôle négatif. Une tige *a* porte une pointe d'aiguille dans laquelle tourne un moulinet très léger en mica *bb*. Le moulinet est formé de quatre ailettes carrées en mica mince et transparent, supportées par des bras en aluminium très légers, partant d'une petite calotte en verre qui se trouve

Fig. 13



au centre et qui repose sur la pointe d'aiguille. Les ailettes sont inclinées à 45° par rapport au plan horizontal. Au dessous du moulinet se trouve un anneau de fil de platine très fin *cc*, dont les extrémités traversent le verre en *dd*. Un fil en aluminium *e* est scellé à la partie supérieure du tube, et l'appareil est épuisé à un très haut degré. Au moyen de la lanterne électrique je projette une image des ailettes sur l'écran. On attache alors les fils de la bobine d'induction de façon que l'anneau de platine soit le pôle négatif, le fil en aluminium *e* étant le pôle positif.

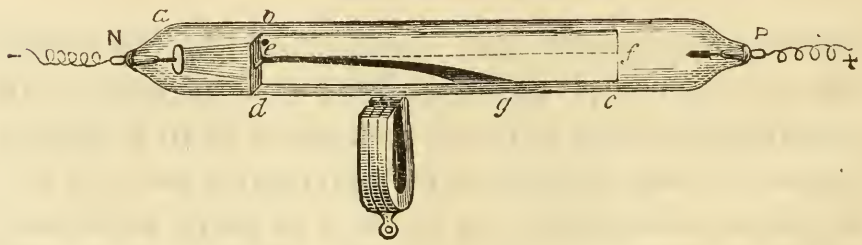
Aussitôt, à cause de la projection de la matière rayonnante émanant de l'anneau de platine, les ailettes se mettent à tourner avec une grande vitesse. Jusqu'ici l'appareil ne nous a rien montré que nous ne fussions en droit d'attendre, d'après les expériences précédentes; mais observez ce qui arrive maintenant. J'intercepte toute communication avec la bobine d'induction, et je mets les deux extrémités du fil de platine en communication avec une petite batterie galvanique. Celle-ci rend l'anneau incandescent, et, sous cette influence, vous voyez que les ailettes tournent aussi vite que lorsqu'elles étaient soumises à l'action du courant de la bobine d'induction.

Ici donc se trouve un autre fait d'une très haute importance : la matière radiante, dans un tel degré de vide, est non seulement excitée par le pôle négatif d'une bobine d'induction, mais aussi la mettra en mouvement avec une force suffisante pour faire tourner les ailettes placées en biais.

La matière radiante est déviée par un aimant.

Je passe maintenant à une autre propriété de la matière radiante. Dans ce long tube (*fig.* 14) on a fait le vide

Fig. 14.

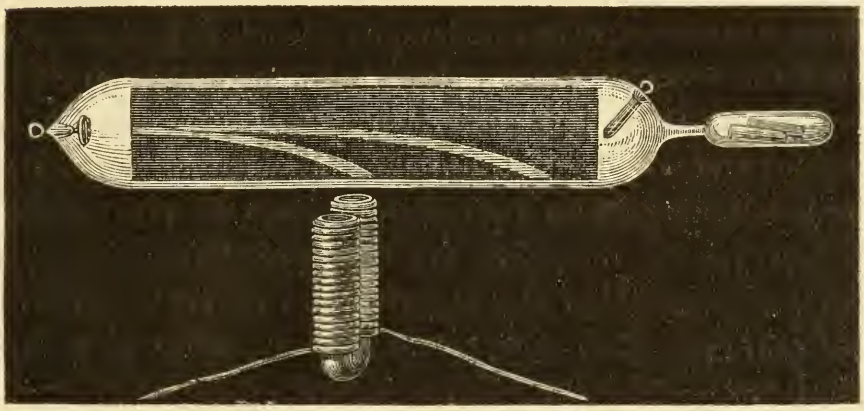


jusqu'à un très haut degré. Il a un pôle négatif à l'une des extrémités *a* et renferme un écran phosphorescent très long *bc*. Devant le pôle négatif se trouve une lame de mica *bd*, avec un trou *e*, dont l'effet est de produire, quand

je fais passer le courant, une ligne phosphorescente *ef*, qui prend le tube tout entier. Je place maintenant au-dessous du tube un fort aimant en forme de fer à cheval. Voyez : la ligne de lumière *eg* se courbe sous l'influence de l'aimant et produit même des ondulations, comme le ferait une baguette flexible, à mesure que je porte l'aimant en avant et en arrière.

Cette action de l'aimant est très curieuse, et, si on la suit de près, elle pourra élucider d'autres propriétés de la matière radiante. Voici un tube (*fig.* 15) exactement

Fig. 15.

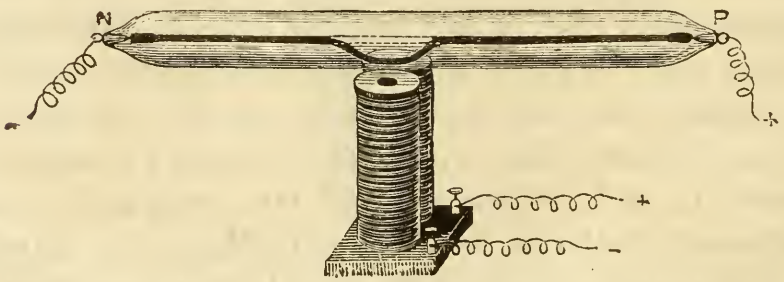


pareil, mais ayant à l'une des extrémité un petit tube contenant de la potasse, laquelle, étant chauffée, produira une légère altération du vide. L'aimant en fer à cheval étant au-dessous du tube, je fais partir le courant d'induction, et vous voyez le rayon de matière rayonnante traçant sa trajectoire dans une ligne courbe que l'on aperçoit sur l'écran. Observez bien la forme de la courbe. Les molécules lancées du pôle négatif peuvent être comparées à une décharge de balles de fer d'une mitrailleuse, et l'aimant qui se trouve en bas représentera la terre courbant la trajectoire du projectile par la gravitation. Ici, dans cet écran lumineux, vous voyez la trajectoire courbée du projectile tracée très exactement. Supposez maintenant que

la force de déviation reste constante : la courbe tracée par le projectile variera avec sa vitesse. Si je mets plus de poudre dans le canon, la vitesse sera plus grande et la trajectoire plus droite, et, si j'interpose un milieu résistant plus dense entre le canon et la cible, je diminue la vitesse du boulet, et, par conséquent, je le force à se mouvoir dans une courbe plus accentuée et à tomber plus vite sur le sol. Je ne puis guère bien augmenter devant vous la vitesse de mon courant de molécules rayonnantes, en mettant plus de poudre à ma batterie; mais j'essayerai de faire qu'elles subissent une plus grande résistance dans leur volée d'une extrémité à l'autre du tube. Je chauffe la potasse caustique avec une lampe à alcool, et j'y introduis ainsi une trace de gaz de plus. Aussitôt le courant de la matière radiante le signale. La vitesse est ralentie; le magnétisme a plus de temps pour agir sur les molécules individuellement; la trajectoire devient de plus en plus courbe, jusqu'à ce que, au lieu de se projeter tout près de l'extrémité du tube, mes boulets moléculaires tombent en bas avant même d'avoir parcouru guère plus de la moitié du chemin.

Il est de la plus haute importance de constater si la loi qui gouverne la déviation magnétique de la trajectoire

Fig. 16.

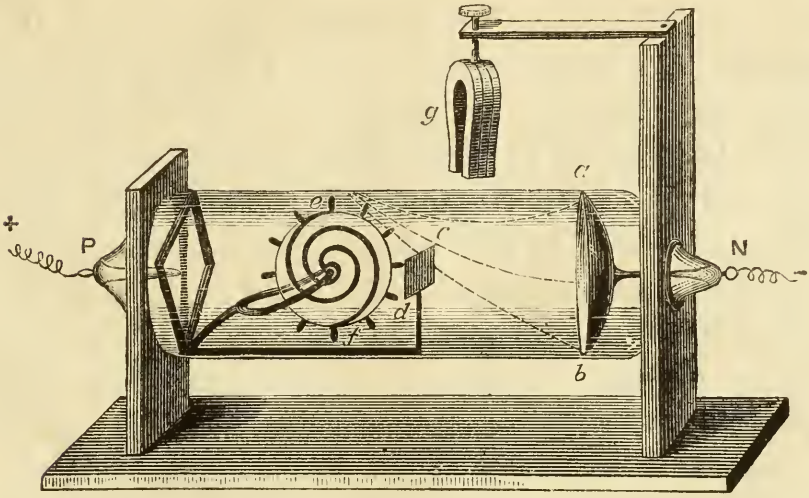


de la matière radiante est la même que celle que l'on a trouvée pour le cas d'un vide moins grand. J'ai ici un tube (*fig.* 16) dans lequel on a produit un vide qui n'est

pas bien grand. Quand j'y fais partir l'étincelle d'induction, elle passe sous la forme d'une ligne étroite de lumière violette qui joint les deux pôles. En dessous, j'ai un puissant électro-aimant. Je touche avec l'aimant, et la ligne de lumière s'incline dans le centre vers l'aimant. Je change les pôles, et la ligne est poussée vers la partie supérieure du tube. Remarquez bien la différence entre les deux phénomènes. Ici l'action est temporaire. La dépression a lieu sous l'influence de l'aimant; la ligne de décharge s'élève alors et poursuit son chemin jusqu'au pôle positif. Cependant, dans le cas d'un vide très considérable, après que le courant de matière radiante s'est incliné vers l'aimant, il ne s'est pas redressé, mais a continué son chemin suivant la direction altérée.

Au moyen de ce moulinet, soigneusement construit par M. Gimingham, je puis montrer la déviation magnétique à l'aide de la lanterne électrique. L'appareil se trouve représenté dans la *fig.* 17. Le pôle négatif *ab* est sous la

Fig. 17.



forme d'une calotte très aplatie. Devant la petite calotte se trouve un écran en mica *cd* assez large pour intercepter la matière radiante venant du pôle négatif. Derrière cet

écran est placé un moulinet en mica *ef* avec une série d'ailettes formant une sorte de roue à aubes. Ainsi disposé, les rayons moléculaires partant du pôle *ab* seront éloignés du moulinet et ne produiront aucun mouvement. Je place maintenant un aimant *g* contre le tube, de façon à dévier le courant vers le haut ou vers le bas de l'obstacle *cd*, et le résultat est un mouvement très rapide dans l'une ou l'autre de ces directions, suivant que l'aimant est placé en haut ou en bas. Je projette l'image de l'appareil sur l'écran. Les lignes en spirale dessinées sur le moulinet montrent de quel côté il tourne. Je dispose l'aimant de façon à attirer le courant moléculaire pour que les ailettes supérieures soient frappées, et le moulinet tourne rapidement comme s'il était un moulin hydraulique en dessus. Je tourne l'aimant pour attirer la matière rayonnante vers le bas : le moulinet se ralentit, s'arrête et commence alors à tourner dans l'autre sens, comme un moulin hydraulique en dessous. Tout cela peut être répété aussi souvent que l'on renverse la position de l'aimant.

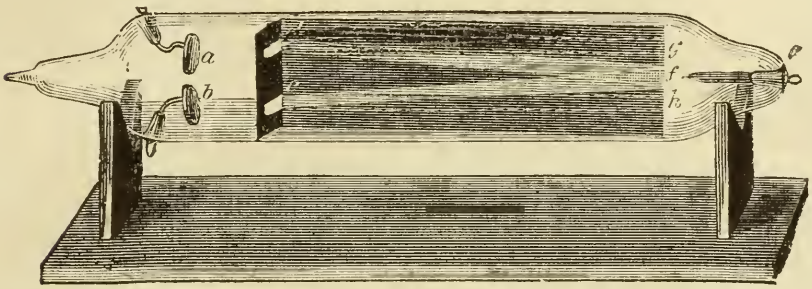
J'ai dit que les molécules de la matière radiante émanées du pôle négatif sont électrisées négativement. Il est probable que leur vitesse est due à la répulsion mutuelle entre le pôle et les molécules semblablement électrisés. Dans le cas de vides moins grands, tel que celui que vous avez vu il y a quelques minutes (*fig.* 16), la décharge passe d'un pôle à l'autre, transportant un courant électrique, comme si c'était un fil flexible. Il serait maintenant fort intéressant de s'assurer si le courant de matière radiante transporte aussi un courant électrique. Voici (*fig.* 18) un appareil qui permettra de trancher la question immédiatement. Le tube contient deux rhéophores négatifs *a*, *b*, tous les deux réunis dans une même extrémité, et un rhéophore positif *e* à l'autre extrémité. Cette disposition me permet d'envoyer deux courants de matière radiante à côté l'un de l'autre, le long de l'écran

phosphorescent, ou seulement un courant, en détachant l'un des pôles négatifs.

Si les courants de matière radiante transportent un courant électrique, ils agiront comme deux fils conducteurs parallèles et s'attireront mutuellement; mais si, au contraire, ils sont constitués par des molécules électrisées négativement, ils se repousseront mutuellement.

Je mettrai d'abord le pôle négatif supérieur *a* en communication avec la bobine d'induction, et vous verrez le rayon s'élancer suivant la ligne *df*. Après cela, je fais également partir le pôle négatif inférieur *b*, et une autre

Fig. 18.



ligne *eh* s'élance le long de l'écran. Mais observez bien comment se comporte la première ligne : de sa position primitive *df* elle saute en *dg*, montrant ainsi qu'elle est repoussée, et, si le temps le permettait, je vous ferais voir que le rayon inférieur est aussi dévié de sa direction normale ; par conséquent, les deux courants parallèles de matière radiante exercent une répulsion mutuelle, agissant non pas comme des porteurs de courants, mais absolument comme des corps électrisés d'une manière semblable.

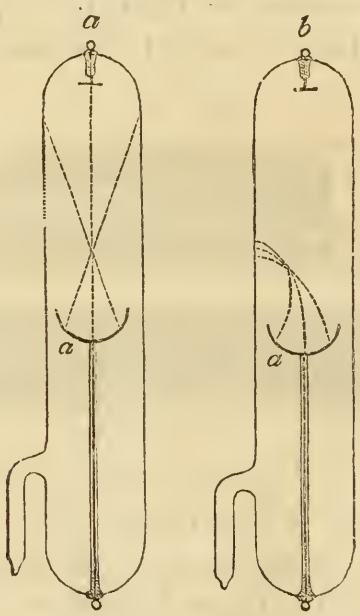
La matière radiante produit de la chaleur quand son mouvement est arrêté.

Pendant toutes ces expériences, une autre propriété de la matière radiante s'est manifestée, quoique je n'y aie

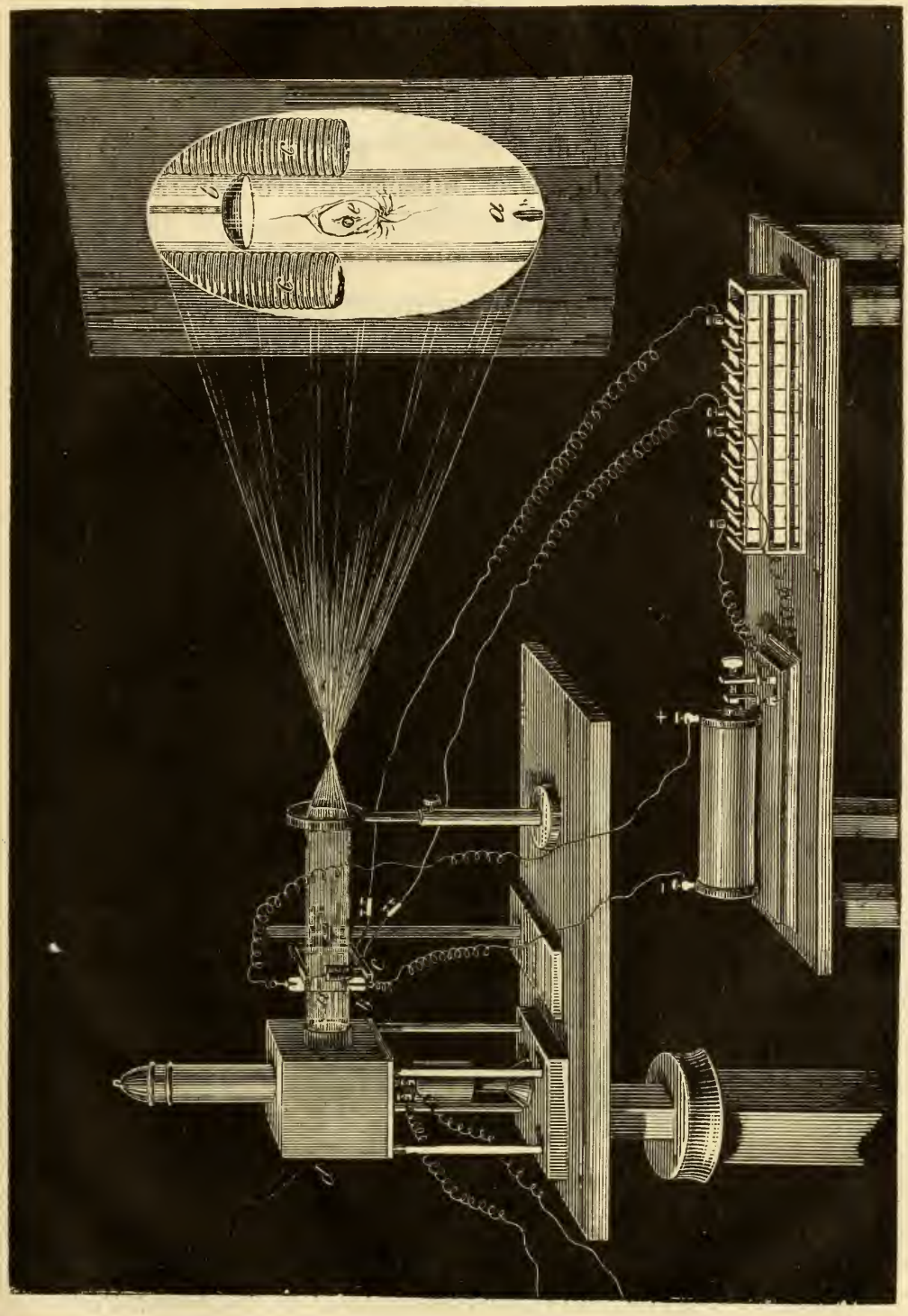
pas attiré votre attention. Le verre devient très chaud là où la phosphorescence verte est plus intense. Le foyer moléculaire sur le tube que nous avons vu un peu après le commencement de la séance (*fig.* 8) est extrêmement chaud, et j'ai disposé un appareil à l'aide duquel cette chaleur, dans le foyer, peut être rendue apparente à tous ceux qui sont présents.

J'ai ici un petit tube *a* (*fig.* 19) avec un pôle négatif

Fig. 19.



sous la forme d'une calotte sphérique. Cette calotte renvoie les rayons dans un foyer au milieu du tube. A côté du tube se trouve un petit électro-aimant, que je puis mettre en mouvement en touchant à une clef, et alors le foyer est attiré vers le côté du tube de verre *b* (*fig.* 19). Pour montrer le premier effet de la chaleur, j'ai recouvert le tube avec de la cire. Je place l'appareil devant la lanterne électrique *d* (*fig.* 20), qui projette sur l'écran une image amplifiée du tube. Sa bobine fonctionne maintenant, et le foyer des rayons moléculaires est projeté le long du tube. Je tourne l'aimant et j'attire le foyer jusque tout près du



verre. La première chose que vous voyez, c'est un espace circulaire, image de la couche de cire fondue. Bientôt, le verre commence à se désagréger, et des fentes, sous forme d'étoile, partent du centre de la partie la plus échauffée. Le verre se ramollit; la pression atmosphérique le fait rentrer et le verre finit par fondre. Un trou *e* se produit au milieu; l'air pénètre dans l'appareil et l'expérience est terminée.

Je puis rendre cette chaleur focale encore plus évidente

Fig. 21.

si je la fais tomber sur un fragment de métal. Cette boule (*fig.* 21) est munie d'un pôle négatif sous la forme d'une calotte *a*. Les rayons seront, par conséquent, concentrés dans un foyer où l'on place et maintient un fragment d'iridioplatine *b*. D'abord, je tourne à peine la bobine d'in-

duction, de façon à ne pas développer toute sa force. Le foyer agit maintenant sur le métal et élève sa température au rouge blanc. J'approche un petit aimant, et vous voyez que je puis dévier le foyer de chaleur exactement comme je fis pour le foyer lumineux dans l'autre tube. En changeant l'aimant de place, je puis faire monter ou faire descendre le foyer, et même le pousser complètement en dehors du métal et empêcher que celui-ci devienne lumineux. Je retire l'aimant et je laisse les molécules agir amplement de nouveau : le métal est maintenant d'un rouge blanc. J'augmente l'intensité de l'étincelle : le platine iridié acquiert un éclat presque insupportable et fond vers la fin.

La chimie de la matière radiante.

Comme on doit le supposer, les distinctions chimiques entre une espèce de matière radiante et une autre sont très difficiles à reconnaître à ce haut degré d'épuisement. Les propriétés physiques que j'ai étudiées semblent communes à toutes les matières réduites à une si faible densité. Que le gaz soumis primitivement à l'expérience soit l'hydrogène, l'acide carbonique ou l'air atmosphérique, les phénomènes de phosphorescence, d'ombre, de déviation magnétique, etc., sont identiques. D'autres faits, cependant, montrent qu'à cette faible densité les molécules conservent leurs caractères chimiques. Ainsi, en introduisant dans les tubes des absorbants appropriés des résidus gazeux, je puis voir que l'affinité chimique se maintient après même que la raréfaction a atteint le point le plus convenable à la production des phénomènes que nous étudions actuellement, si bien que, par ce moyen, je puis pousser la raréfaction à un degré de beaucoup supérieur à celui auquel j'arrive par l'emploi de la pompe seule. Travaillant avec de la vapeur aqueuse, je puis employer l'anhydride phosphorique comme absorbant; avec l'acide

carbonique, la potasse; avec l'hydrogène, le palladium; avec l'oxygène, d'abord le carbone, puis la potasse.

Le degré de vide le plus élevé que j'aie réussi à obtenir est de $\frac{1}{20000000}$ d'atmosphère, degré qui sera mieux apprécié si je dis qu'il correspond à environ le $\frac{1}{100}$ de pouce dans une colonne barométrique de 3 milles de hauteur.

On peut objecter que ce n'est guère conséquent que d'attacher une grande importance à la présence de la matière, alors que j'ai fait les plus grands efforts pour enlever de ces boules et de ces tubes le plus de matière possible, et que j'ai réussi dans mes expériences, en tant que j'ai laissé environ $\frac{1}{1000000}$ d'atmosphère dans ces vaisseaux. A sa pression ordinaire, l'atmosphère n'est pas très dense, et sa connaissance comme constituant du monde de la matière est une notion tout à fait récente. Il semblerait qu'étant divisée par 1 million on laisserait nécessairement si peu de matière, que nous pouvons très justement négliger ce résidu insignifiant et appliquer le terme *vide* à l'espace duquel l'air a été presque enlevé. Cependant, traiter les choses de la sorte serait une grande erreur que l'on ne pourrait qu'attribuer à l'impuissance de nos facultés de concevoir et de saisir des nombres très grands. On admet généralement que lorsqu'un nombre est divisé par 1 million le quotient doit nécessairement être petit; mais il peut arriver que le premier nombre soit tellement grand que sa division par 1 million produise un effet presque insensible. D'après les personnes les plus autorisées, une boule de la grandeur de celles qui se trouvent devant vous (de $0^m,135$ de diamètre) contient plus de 1 000 000 000 000 000 000 000 000 (un septillion) de molécules. Cela étant, quand on y fait le vide jusqu'à $\frac{1}{1000000}$ d'atmosphère, nous avons encore 1 trillion de molécules dans la boule, nombre suffisamment grand pour me justifier quand je parle du résidu comme matière.

Pour donner une idée de ce nombre immense, je prends la boule vide et au moyen d'étincelle de la bobine d'induction j'y fais un trou. L'étincelle produit un trou d'une finesse microscopique, suffisant néanmoins pour permettre aux molécules d'entrer et détruire le vide. La pénétration d'air frappe contre les ailettes et les met en mouvement à la manière d'un moulin à vent. Supposon que les molécules soient d'une grandeur telle qu'à chaque seconde 100 millions de ces molécules puissent entrer dans la boule. Combien de temps, croyez-vous, serait nécessaire pour que ce petit vase se remplît d'air? une heure? un jour? un an? un siècle? Bien plus encore : presque une éternité! un temps si énorme, que l'imagination ne peut guère saisir la réalité. En supposant que cette boule de verre vide, pourvue d'indestructibilité, ait été percée à la naissance du système solaire; qu'on la suppose exister lorsque la Terre était encore vide et sans forme; que l'on suppose qu'elle ait assisté à tous les changements prodigieux accomplis pendant tous les cycles des époques géologiques, avoir vu paraître la première créature vivante, et disparaître le dernier homme; que l'on suppose qu'elle puisse survivre jusqu'à l'accomplissement de la prédiction des mathématiciens, à savoir que le Soleil, la source de l'énergie, 4 millions de siècles après sa formation, deviendra enfin un cendrier éteint ([1]); en admettant tout ce que nous venons d'énumérer, cette petite boule, en se remplissant d'après le nombre que j'ai mentionné, de 100 millions de molécules par seconde, à la fin de tout ce laps de temps n'aurait pas le septillion de molécules ([2]).

([1]) La durée possible du Soleil, depuis sa formation jusqu'à son extinction, a été estimée d'une manière différente par plusieurs autorités : elle est comprise entre 18 et 400 millions d'années. Pour le cas de la démonstration que je me propose de faire, j'ai pris le chiffre le plus élevé.

([2]) D'après M. Johnstone Stoney (*Philosophical Magazine*, t. XXXVI,

Mais que penserez-vous lorsque je vous dirai que toutes ces molécules, ce septillion de molécules, entreront par ce petit trou microscopique avant même que vous ayez quitté la salle? Le trou n'étant pas altéré comme grandeur, le nombre de molécules n'étant pas diminué, ce paradoxe apparent peut seulement être expliqué en admettant la grandeur des molécules infiniment petite, de sorte qu'au lieu d'entrer dans la boule à raison de 100 millions par seconde elles y affluent à raison de quelque chose comme 300 trillions par seconde. J'en ai fait la somme; mais, quand les chiffres s'élèvent tellement, ils cessent d'avoir aucune signification, et de tels calculs deviennent aussi futiles que de vouloir compter les gouttes d'eau contenues dans l'Océan.

En étudiant le quatrième état de la matière, il semble que nous ayons mis à notre portée et soumis à notre contrôle les petites particules que, avec de bonnes garanties, nous supposons constituer la base physique de l'univers.

Nous avons vu que dans quelques-unes de ses propriétés la matière radiante est aussi *matérielle* que cette table, pendant que dans d'autres propriétés elle assume presque

---

p. 141), 1^{cc} d'air contient à peu près $1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000^{mol}$. Par conséquent, un volume de $13^{cm},5$ de diamètre contient

$$13,5^3 \times 0,5236 \times 1\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000^{mol}$$

d'air à la pression ordinaire. Donc, quand le vide a été produit à $\frac{1}{1000000}$ d'atmosphère dans la boule, celle-ci contient encore

$$1\,288\,252\,350\,000\,000\,000^{mol},$$

et $1\,288\,251\,061\,747\,650\,000\,000\,000^{mol}$ peuvent encore y entrer par le trou dont il est question. A raison de $100\,000\,000^{mol}$ par seconde, le temps nécessaire pour que toutes entrent dans la boule sera :

12882510617476500 secondes, ou
214708510291275 minutes, ou
3578475171521 heures, ou
149103132147 jours, ou
408501731 ans.

le caractère de l'énergie radiante. Nous avons touché actuellement la frontière où la matière et la force semblent se fondre l'une dans l'autre, le royaume ténébreux entre le *connu* et l'*inconnu*, qui a toujours eu pour moi un entraînement tout particulier. J'ose croire que les plus grands problèmes scientifiques de l'avenir trouveront leur solution dans cette *frontière*, et même au delà. Là, il me semble, se trouvent des réalités ultimes, subtiles, merveilleuses, de très longue portée :

Yet all these were, when no Man did them know,
Yet have from wisest Ages hidden beene ;
And later Times thinges more unknowne shall show.
Why then should witlesse Man so much misweene,
That nothing is, but that which he hath seene [1]?

---

[1] Cependant tout ceci existait quand aucun être humain ne le connaissait; pourtant ils étaient cachés depuis les siècles des Sages, et les temps à venir montreront des choses encore plus inconnues. Pourquoi donc l'homme ignorant devrait-il tellement méjuger que rien n'existe que ce qu'il a vu?

Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins 55.

LIBRAIRIE DE GAUTHIER-VILLARS,

QUAI DES AUGUSTINS, 55, A PARIS.

BERTHELOT (**Marcellin**), Professeur de Chimie organique à l'École de Pharmacie et chargé de cours au Collège de France. — **Leçons sur les Méthodes générales de Synthèse en Chimie organique.** (Cours du Collège de France). In-8; 1864..... 8 fr.

CAHOURS (**Auguste**), Professeur à l'École Polytechnique. — **Traité de Chimie générale élémentaire.** Leçons professées à l'École centrale des Arts et Manufactures et à l'École Polytechnique. (*Autorisé par décision ministérielle.*)

CHIMIE INORGANIQUE. 4e édition. 3 volumes in-18 jésus avec 250 figures environ et 8 planches; 1878..... 15 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 6 fr.

CHIMIE ORGANIQUE. 3e édition. 3 volumes in-18 jésus avec figures, 1874-1875..... 15 fr.
Chaque volume se vend séparément..... 6 fr.

DISLERE (**P.**), Ingénieur des constructions navales, Secrétaire du Conseil des travaux de la Marine. — **La Guerre d'escadre et la Guerre de côtes** (*Les nouveaux navires de combat*). Un beau volume grand in-8, avec nombreuses figures gravées sur bois, dans le texte; 1876..... 7 fr.

DUMAS, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences. — **Leçons sur la Philosophie chimique**, professées au Collège de France en 1863, recueillies par M. *Bineau*. 2e édition. In-8; 1878..... 7 fr.

FAYE (**H.**), Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes. — **Cours d'Astronomie nautique.** In-8, avec figures dans le texte; 1880... 10 fr.

LECOQ DE BOISBAUDRAN. — **Spectres lumineux**; *spectres prismatiques et en longueurs d'ondes*, destinés aux recherches de Chimie minérale. Un vol. de texte grand in-8 et un Atlas, même format, de 29 belles planches gravées sur acier, contenant 56 spectres; 1874..... 20 fr.

MARINE A L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE 1878 (**LA**). — Ouvrage publié par ordre de M. le Ministre de la Marine et des Colonies. Deux beaux volumes grand in-8°, avec 102 figures dans le texte, et deux Atlas in-plano contenant 161 planches; 1879..... 80 fr.

YVON VILLARCEAU, Membre de l'Institut et du Bureau des Longitudes et **AVED DE MAGNAC**, Lieutenant de vaisseau. — **Nouvelle navigation astronomique.** (L'heure du premier méridien est déterminée par l'emploi seul des chronomètres.) Théorie et Pratique. Un beau vol. in-4, avec planche; 1877..... 20 fr.

On vend séparément :

Théorie, par M. *Yvon Villarceau*..... 10 fr.
Pratique, par M. *Aved de Magnac*..... 12 fr.

6000 Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, quai des Augustins, 55.

COUNTWAY LIBRARY OF MEDICINE
QC
475
C88 F8
RARE BOOKS DEPARTMENT